Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie
und Rehabilitationsforschung
der Universität Marburg/Lahn
Direktor: Prof. Dr. G. Hildebrandt

Der Tagesgang der stündlichen Pulssumme bei körperbehinderten Schülern und seine Abhängigkeit von körperlicher Aktivität und Leistungsfähigkeit

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von
Walter Flotho
aus Hofgeismar

Marburg/Lahn 1969

E. Symon · Foto-Druck · 355 Marburg/L. · Friedrichstr. 3

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie
und Rehabilitationsforschung
der Universität Marburg/Lahn
Direktor: Prof. Dr. G. Hildebrandt

Der Tagesgang der stündlichen Pulssumme bei körperbehinderten Schülern und seine Abhängigkeit von körperlicher Aktivität und Leistungsfähigkeit

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von
Walter Flotho
aus Hofgeismar

Marburg/Lahn 1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 1o.11. 1969
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan: Prof.Dr.rer.nat. P. Karlson
Referent: Prof.Dr.med. G. Hildebrandt
Correferent: Prof.Dr.med. G. Exner

Meiner Mutter in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Methodik	4
1. Versuchspersonen	4
2. Untersuchungsmethoden	5
a) Pulszählung	5
b) Ergometrie	7
3. Untersuchungsablauf	10
a) Tagesgang der stündlichen Pulssumme	10
b) Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit	11
4. Statistische Methodik	12
5. Auswertungsverfahren, Ableitung und Reproduzierbarkeit der Messgrössen	13
a) 1-Std.-Pulssumme	13
b) 24-Std.-Pulssumme	13
c) Mittlere Tagesstundenpulssumme	17
d) Mittlere Nachtstundenpulssumme	17
e) Nächtliches Pulssummenminimum	19
f) Das 9.oo Uhr-Maximum	19
g) Pulsfrequenzsteigerung bei Arbeit	19
h) Erholungspulssumme	21
III. Ergebnisse	22
1. Der Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme	22
a) Maxima und Minima	22
b) Amplitude	23
c) Wechselbeziehungen von Phase, Amplitude und Niveau	31
2. Der Einfluss der körperlichen Aktivität auf den Tagesgang	36
3. Der Einfluss der körperlichen Leistungsfähigkeit	41
4. Individuelle Besonderheiten und weitere Einzelbeobachtungen	44
IV. Diskussion	48
V. Zusammenfassung	56
VI. Literaturverzeichnis	58

I. Einleitung

Bei der Beurteilung der körperlichen Belastung und Leistungsfähigkeit spielt das Verhalten der Pulsfrequenz eine hervorragende Rolle. Das liegt einmal daran, dass eine fortlaufende Überwachung des Pulsverhaltens schon immer relativ einfach und mit geringem Aufwand möglich war; zudem sind auch eine Reihe von automatischen Methoden zur fortlaufenden Pulsüberwachung entwickelt worden (E.A.MÜLLER 1957; G.PREUSCHEN 1967; W.POSSNER 1967/68), von denen heute insbesondere die telemetrischen Verfahren sowie die sogenannten SAMI-Geräte (Socially applicable instruments) grosses Interesse gewonnen haben. Andererseits ist aber auch die Pulsfrequenz selber ein Indikator, der sehr weitreichende funktionelle Verbindungen im Organismus besitzt. So ist die Pulszahl nicht allein von der Kreislaufbeanspruchung her reguliert, sondern auch in hohem Masse gegenüber emotionellen Effekten anfällig und gilt schliesslich auch als ein Ermüdungsmass bei geistiger und körperlicher Beanspruchung (MÜLLER 1955; RUTENFRANZ 1960; BARTENWERFER 1963). Auch als Indikator für den Erholungsablauf ist die Pulsfrequenz eine praktisch bevorzugte Funktionsgrösse.

In Anbetracht dieser grossen und vielseitigen praktischen Bedeutung bzw. Verwendung der Pulsfrequenz muss bemerkt werden, dass die physiologischen Kenntnisse über das Pulsverhalten nicht in entsprechendem Masse entwickelt worden sind und zahlreiche Lücken aufweisen. So ist z.B. die Tatsache, dass die Pulsfrequenz einem starken Einfluss der Tagesrhythmik des Menschen unterliegt, bei den praktischen Anwendungen der Pulszahlmessungen bisher nicht hinreichend berücksichtigt worden. Während für kurzzeitige Beobachtungen des Pulsverhaltens (z.B. unter akuter Belastung bzw. in der Erholungsphase) unter der stillschweigenden Voraussetzung, dass die Pulsfrequenz in Ruhe währenddessen stets konstant geblieben ist, hinreichende Grundlagen erarbeitet worden sind,

dürften diese Idealbedingungen insbesondere dann nicht mehr zutreffen, wenn etwa über die ganze Arbeitszeit hin oder sogar im ganzen Tageslauf ein Urteil über das Pulsverhalten gefällt werden soll.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen über den tagesrhythmischen Gang der Pulsfrequenz sind für unsere praktischen Zwecke insofern weniger geeignet, als sie meist unter den Bedingungen der vollkommenen und gleichmässigen Ruhe, z.T. sogar mit regelmässig verteilter Nahrungsaufnahme vorgenommen worden sind (Lit.-Übersichten s.MENZEL 1962; HILDEBRANDT 1962). Es ist aber bisher nicht bekannt, wie sich z.B. eine bestimmte Aktivität am Tage auf den gesamten Tagesgang der Pulsfrequenz einschliesslich der Nacht auswirkt. Auch ist noch nicht untersucht, wie und in welchem Umfange das Pulsverhalten im Tageslauf von Änderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit, des Trainingszustandes u.s.w. beeinflusst werden kann.

Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass die bisherigen Kenntnisse über das Verhalten der Pulsfrequenz im Tageslauf auf Messungen der Pulsfrequenz beruhen, die bestenfalls über jeweils wenige Minuten unternommen worden sind. Auf der anderen Seite aber wurden die fortlaufenden Pulskontrollen bzw. -zählungen am Arbeitsplatz etc. im Sinne einer integrierenden Pulszählung durchgeführt, ohne dass bisher Grundlagen über das normale Verhalten solcher integralen Pulssummen im Tageslauf sowie in Abhängigkeit von Belastung und Leistungsfähigkeit vorliegen.

Neben all diesen noch offenen Fragen wäre es speziell bei Körperbehinderten in den verschiedenen Stadien der Rehabilitation wünschenswert, ein Mass zu gewinnen, das Auskunft über die zumutbare Belastung durch zusätzliche therapeutische Massnahmen (z.B. Massagen , sportliches Training) geben kann, und zwar im Zusammenhang mit der normalen Belastung durch den Tagesablauf.

Alle diese Probleme sollten im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen angegangen werden. Dabei waren wir uns darüber im Klaren, dass zunächst nur ein Teilausschnitt intensiver behandelt, zugleich aber Ausblicke auf die Beteiligung weiterer Faktoren gewonnen werden könnten. Entscheidend war uns vor allem, den Pulsverlauf erstmals als integrales Verhalten im Tagesgang beobachten und dann die Ergebnisse mit den bereits vorliegenden Kenntnissen über den Tagesgang der Pulsfrequenz vergleichen zu können. Zur Abstufung der körperlichen Belastung und Aktivität bot sich die Untersuchung von Probanden an, die infolge körperlicher Behinderung den Tag - bei sonst gleicher Tageseinteilung - entweder liegend, sitzend oder gehend zubrachten.

Unter Heranziehung üblicher Methoden zur Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit sollte ausserdem versucht werden, abzugrenzen, in welchem Masse das integrale Pulsverhalten im Tagesgang von der körperlichen Leistungsfähigkeit bzw. von der Kreislauf-Leistungsfähigkeit mitbestimmt wird. Wir hofften, auf diesem Wege weitere Anhaltspunkte zur Beurteilung der Pulszahl zu gewinnen.

II. Methodik

Unsere Untersuchungen wurden in zwei Abschnitten während der Monate November bis März durchgeführt. Zunächst wurde der Tagesgang der Pulsfrequenz bei insgesamt 32 Kindern und Jugendlichen mit unterschiedlicher körperlicher Aktivität verfolgt; bei 15 dieser Probanden wurde anschliessend die körperliche Leistungsfähigkeit mit einem ergometrischen Test bestimmt.

1. Versuchspersonen.

Die Gesamtgruppe der Probanden bestand aus 21 Mädchen und 11 Knaben im Alter zwischen 12 und 16 Jahren (mittleres Alter 13,8 Jahre), die als Dauerpatienten auf der Kinderstation der Anstalt "Lichtenau" (Orthopädische Klinik und Rehabilitationszentrum der Inneren Mission e.V.,Hess.-Lichtenau; Direktor: Prof.Dr.med.Langhagel)[x] lebten. Sie waren in Drei- und Sechs-Bettenzimmern untergebracht und wurden im Rahmen der sogenannten Bettenschule in einem besonderen Raum der Station von drei weiblichen Lehrkräften unterrichtet[xx]. Der geistige Entwicklungsstand zeigte in keinem Falle wesentliche Abweichungen vom Altersdurchschnitt. Bedingt durch Art und Ausmass der orthopädischen Erkrankung waren 12 Probanden ständig bettlägerig (Gruppe III) , 12 weitere brachten den Tag sitzend im Rollstuhl zu (Gruppe II), die übrigen 8 Probanden konnten laufen (Gruppe I), teilweise

---

x) Für die gebotene Möglichkeit, Patienten der Anstalt Lichtenau untersuchen zu können, sind wir dem Chefarzt, Herrn Prof.Dr.med.Langhagel, zu besonderem Dank verpflichtet.

xx) Den Lehrkräften der Bettenschule sowie dem Pflegepersonal der Kinderstation sei für die bereitwillige Unterstützung der Untersuchungen an dieser Stelle herzlich gedankt.

benutzten sie dabei einen Stock. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Alter, Geschlecht, Art der orthopädischen Erkrankung sowie den Grad der Bewegungsfähigkeit. Das Durchschnittsalter in den genannten drei Gruppen schwankte nur zwischen 13,6 und 14,0 Jahren.

Zur ergometrischen Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit konnten aus der Gesamtgruppe nur 15 Probanden herangezogen werden (vgl. Tabelle 1), da einerseits aus technischen Gründen auf einen Teil der Bettlägerigen verzichtet werden musste, und andererseits mehrere Schüler inzwischen entlassen worden waren. Es verblieben 11 Mädchen und 4 Knaben mit einem Durchschnittsalter von 13,7 Jahren. Davon gehörten 5 Probanden zur Gruppe I, 6 zur Gruppe II und 4 zur Gruppe III.

2. Untersuchungsmethoden.

a) Pulszählung.

Zur Zählung der Pulse wurden photoelektrische batteriebetriebene Pulszähler nach E.A.MÜLLER und HIMMELMANN (1957) (Hersteller: Fa.Himmelmann, Dortmund) in einer geräuscharmeren Sonderausführung verwandt, von denen sechs gleichzeitig eingesetzt werden konnten. Bei Dauerbetrieb ist eine fortlaufende Pulszählung ohne Aufladen der Batterien über ca.10 Stunden möglich. Die Pulsabnahme erfolgte mittels der zugehörigen photoelektrischen Pulszähler vom Ohrläppchen. Nach einigen Voruntersuchungen wurde sowohl von einer vorhergehenden chemischen Hyperämisierung des Ohrläppchens als auch von einer Verwendung der mitgelieferten Lichtschutzkappen abgesehen. Bei der Untersuchung der liegenden Probanden wurden die Pulszähler am Kopfende des Bettes angebracht, bei den sitzenden an der Rücklehne des Rollstuhles befestigt. Die gehfähigen Schüler trugen das Zählgerät, das ein Eigengewicht von ca.1000g besitzt, mit den zugehörigen

Tabelle 1

Angaben über die Versuchspersonen.

Nr.	Name	Geschlecht	Alter	Orthopädische Erkrankung	Bewegungs-Fähigkeit	ergometrisch getestet
1	A.P.	weiblich	15	Poliomyelitis	I	x
2	G.F.	"	14	Poliomyelitis	III	x
3	C.M.	"	13	Coxa vara	II	
4	I.T.	"	13	Poliomyelitis	I	
5	R.F.	"	14	Osteogen.imperf.	I	x
6	A.S.	"	13	Coxa vara	III	
7	B.G.	"	16	Querschnittsl.	III	x
8	M.R.	"	15	Querschnittsl.	II	x
9	B.J.	"	14	Aplasie re.Usch.	I	x
10	B.R.	"	13	Progr.Muskeldystr.	II	
11	K.W.	"	13	Querschnittsl.	II	x
12	I.R.	"	14	Poliomyelitis	II	x
13	A.R.	"	15	Poliomyelitis	III	
14	M.K.	"	16	Skoliose	I	x
15	B.M.	"	14	Poliomyelitis	II	
16	I.R.	"	14	Skoliose	III	
17	C.Z.	"	14	Osteomyelitis	I	
18	I.U.	"	13	Querschnittsl.	III	
19	K.C.	"	13	Querschnittsl.	III	
20	I.L.	"	15	Poliomyelitis	III	
21	I.G.	"	13	Poliomyelitis	III	x
22	G.H.	männlich	13	Coxa vara	III	
23	A.R.	"	13	Poliomyelitis	I	
24	D.S.	"	13	Querschnittsl.	II	x
25	L.T.	"	13	Cerebralparese	III	
26	F.W.	"	16	Querschnittsl.	II	
27	H.S.	"	14	Epiphysiolysis cox.	II	
28	U.S.	"	13	Genu varum	I	x
29	H.K.	"	13	Epiphysiolysis cox.	III	x
30	G.W.	"	13	Polyarthr.chron.	II	x
31	R.P.	"	13	Querschnittsl.	II	
32	M.D.	"	13	Amputat.li.Usch.	II	x

I = Laufende Prob.
II = Sitzende Prob.
III = Liegende Prob.

Tragegurten auf dem Rücken (vgl.Abb.1). Um Zählfehler auszuschliessen, wurde zusätzlich bei jeder Ablesung eine zweiminütige manuelle Pulszählung durchgeführt.

b) Ergometrie.

Die ergometrische Belastung wurde als beidarmige Handkurbelarbeit im Sitzen an einem Drehkurbelergometer vom Typ LODE - LANDOY 1965 (Hersteller: Lode Instrumenten N.V.,Groningen, Niederlande) durchgeführt (vgl.Abb.2). Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der Wirbelstrombremse von PASQUALINI und ist weitgehend drehzahlunabhängig. Die Kurbelachse befand sich in Schulterhöhe, der Abstand richtete sich nach der Armlänge der Probanden. Auf allen Belastungsstufen wurden 60 Umdrehungen /min. gefordert. Die Drehzahl wurde am Drehzahlmesser kontrolliert, dessen Skala sich im Blickfeld des Probanden befand. Vor Arbeitsbeginn wurde das Gerät jeweils vom Untersucher auf die geforderte Drehzahl gebracht. Die Pulszahl wurde fortlaufend mit einem Pulszähler nach MÜLLER u. HIMMELMANN (1957) gezählt und 1- bzw. 1/2-minütlich von einem mitangeschlossenen Pulsdrucker (Hersteller: Keller u. Co., Berlin) ausgedruckt.

Abb. 1 Photoelektrischer Pulszähler mit Ohrabnehmer und Tragegurt bei einem laufenden Probanden der Gruppe I.

Abb. 2 Versuchsanordnung zur ergometrischen Belastung mit Drehkurbelergometer, photoelektrischem Pulszähler und Pulsdrucker.

3. Untersuchungsablauf.

a) Tagesgang der stündlichen Pulssumme.

Wegen der begrenzten Betriebsdauer der Pulszähler musste die Untersuchung des Tagesganges in drei getrennten Abschnitten vorgenommen werden. Der erste erstreckte sich von 6.oo bis 15.oo Uhr (Vormittagsabschnitt), der zweite von 14,oo bis 21.oo Uhr (Nachmittagsabschnitt) und der dritte von 20.oo bis 7.oo Uhr (Nachtabschnitt), so dass sich die Beobachtungsperioden, die an verschiedenen Tagen durchgeführt werden mussten, jeweils um eine Stunde überlappten. Vormittags- und Nachmittagsabschnitte wurden bei allen Probanden zweimal untersucht, der Nachtabschnitt nur bei 12 Versuchspersonen zweimal, in den übrigen Fällen lediglich einmal. Die stündlichen Pulssummen wurden aus einstündlichen Ablesungen des Zählwerkstandes ermittelt. Beim Ablesen wurde - wie bereits oben erwähnt - zur Kontrolle zusätzlich noch für zwei Minuten eine manuelle Pulszählung durchgeführt.

Der Tagesablauf der Probanden an den Untersuchungstagen entsprach der Gewohnheit. Er war folgendermassen gegliedert:

7.30 Aufstehen bzw. Betten
8.00 Morgenkaffee
9.00 bis 12.oo Schulunterricht (Bettenschule)
12.30 Mittagessen
13.00 bis 15.30 Mittagsruhe bzw.Lesestunde
ab 15.30 Schulaufgaben, Spielen etc.
18.00 Abendessen
ab 20.00 Zubettgehen
21.00 Licht aus.

Es wurde darauf geachtet, dass keine aussergewöhnlichen körperlichen oder geistigen Leistungen gefordert wurden oder sonstige zusätzliche Belastungen auftraten. Die Ergebnisse eines Vormittages, an welchem 6 Kinder unfreiwillig Zeugen eines tödlichen Unfalles wurden, mussten eliminiert werden.

Die Probanden gewöhnten sich alle schnell an die Untersuchungen und waren teilweise so interessiert, dass sie das richtige Funktionieren der Zähler bei sich und anderen mitkontrollierten. Insbesondere verlief auch die Nachtruhe ungestört. Nach Aussagen der Lehrkräfte wurden Aufmerksamkeit und auch die schulischen Leistungen durch das hörbare Betriebsgeräusch der Pulszähler nicht beeinträchtigt.

b) Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Als Mass für die körperliche Leistungsfähigkeit wurde einerseits die Pulsfrequenzsteigerung bei stufenweise gesteigerter Handkurbelarbeit, andererseits auch die Erholungspulssumme (MÜLLER 1951) , d.h. die Summe der Pulse, die während der Erholungszeit über der Ruhepulsfrequenz liegen, herangezogen. Nach Ermittlung der Ruhepulsfrequenz im Sitzen, die als Mittel aus 10 Minuten bestimmt wurde, arbeitete der Proband in mehreren Abschnitten für jeweils 5 Minuten,wobei die Belastung in jedem Abschnitt um 10 Watt erhöht wurde, bis zur Leistungsgrenze. Nach jeder 5.Arbeitsminute wurde solange pausiert, bis das Ruhepulsniveau wieder erreicht war. Von den 15 Probanden, an denen der Test ausgeführt werden konnte, mussten 2 bereits bei 20 Watt Belastung nach 3 Minuten Arbeitszeit aufgeben, bei 30 Watt brachen 3 weitere Probanden nach 2 Minuten Arbeitszeit ab. An der Arbeitsperiode mit 40 Watt nahmen nur noch 10 Probanden teil, von denen 3 vorzeitig abbrachen. Von den 5 Probanden, die noch die Arbeitsperiode mit 50 Watt begannen, konnte keiner die volle Arbeitszeit durchhalten. Selbstverständlich wurde es vermieden, die Versuchspersonen durch unnötiges Anspornen zu überfordern.

4. Statistische Methodik.

Mittelwerte wurden arithmetisch bestimmt, bei logarithmischen Verteilungsformen nach entsprechender Transformation.

Zur Ausschaltung von interindividuellen Niveauunterschieden im Tagesgang etc. wurden sämtliche Messwerte in Prozent des individuellen Gesamtmittelwertes umgerechnet.

Die Standardabweichung (σ) wurde nach der Formel

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{S\,(x - M)^2}{n - 1}}$$

x = Einzelmessung
M = Mittelwert
n = Anzahl der Messungen

der mittlere Fehler des Mittelwertes (σ_M) nach der Formel

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

berechnet.

Die Differenz von Mittelwerten prüften wir nach dem t/Test (Student-Verteilung) auf Signifikanz (Wissenschaftliche Tabellen, DOCUMENTA GEIGY, 6.Aufl.1960).

Korrelationen wurden als Produkt-Moment-Korrelationen nach BRAVAIS-PEARSON berechnet (vgl.HENRYSSON u.Mitarb.1960):

$$\text{Korr.-Koeffizient } r_{xy} = \frac{\sum(x-M_x)\ (y - M_y)}{n \cdot \sigma x \cdot \sigma y}$$

($x - M_x$ bzw. $y - M_y$ = Abweichung der Einzelwerte vom zugehörigen Mittelwert; $\sigma x, \sigma y$ = Standardabweichung; n = Zahl der Beobachtungen). Zur Signifikanzprüfung wurde nach folgenden Formeln der t-Wert berechnet (vgl. SACHS 1926):

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}$$

$$t = \frac{r}{m_r}$$

Zur graphischen Darstellung wurde an Stelle der beiden

Regressionsgeraden die "Ausgleichsgerade" nach SALINGER (1926) benutzt. Sie ist durch ihre Steigung ($\frac{y}{x}$) und den Schwerpunkt der Verteilung mit seinen Koordinaten M_x und M_y definiert. Die Ausgleichsgerade liegt wie die ihr ähnliche "mittlere Gerade" (WIRTH 1927) stets zwischen den beiden Regressionsgeraden und gibt die mittlere gegenseitige Abhängigkeit von x und y an.

5. Auswertungsverfahren, Ableitung und Reproduzierbarkeit der Messgrössen.

a) 1-Std.-Pulssumme.

Insgesamt wurden 1.508 stündliche Pulssummen bestimmt. Davon mussten infolge technischer Fehler der Zählgeräte 12 Werte ausgeschieden und durch das Ergebnis einer manuellen Pulszählung ersetzt werden. Diese erfolgte jeweils am Ende der Messtunde über zwei Minuten, die erhaltenen Frequenzwerte wurden auf Stundensummen umgerechnet. Die Ausfallquote betrug somit weniger als ein Prozent. Im Folgenden sind bei Angabe der 1-Std.-Pulssummen wie auch aller weiteren Messgrössen die entsprechenden Frequenzwerte (P/min) zur besseren Übersicht jeweils in Klammern beigefügt.

b) 24-Std.-Pulssumme.

Bei der Addition der individuellen 1-Std.-Pulssummen zur 24-Std.-Pulssumme wurden für die Tagesstunden, in denen überlappend gemessen worden war (6.oo bis 7.oo, 14.oo bis 15.oo und 20.oo bis 21.oo Uhr) nur diejenigen Messwerte verwendet, die jeweils als Abschluss der Messabschnitte gewonnen worden waren. Obwohl erwartet wurde, dass die den gleichen Zeitraum überlappenden Werte der nachfolgenden Messabschnitte durch noch fehlende Gewöhnung an die Messituation beeinflusst würden, fanden sich keine wesentlichen Differenzen. Auch bei graphischer Prüfung ergab sich die

Berechtigung, die drei an verschiedenen Tagen gewonnenen Messabschnitte zu einem durchgehenden Tagesgang zusammenzufassen, da sie ohne merklichen Sprung ineinander übergehen. Die zur Bestimmung der 24-Std.-Pulssummen benutzten drei Messabschnitte waren jeweils innerhalb von drei aufeinander folgenden Wochen durchgeführt worden.

Die Werte des nächtlichen Messabschnittes, der bei 20 Probanden nur einmal durchgeführt worden war, wurden in den übrigen 12 Fällen zweimal zur Bestimmung der 24-Std.-Pulssummen verwendet. Die Berechtigung zu solchem Vorgehen ergibt sich aus den Ergebnissen der Abbildungen 3 und 4. Abb.3 zeigt den Tagesgang der mittleren Paardifferenzen zwischen den 1-Std.-Pulssummen der ersten und zweiten Untersuchung bei den 12 vollständig doppelt untersuchten Probanden sowie den Tagesgang der dazugehörigen Streuungswerte (Abb.3,unten). Die mittlere Paardifferenz bleibt den ganzen Tag über im Bereich von 180 P/h (3 P/min), zu keiner Stunde weicht der Wert signifikant von Null ab. Die Streuungswerte liegen während der Nachtruhe (22.oo bis 7.oo Uhr) im Bereich von nur 120 P/h (2 P/min), während der Aktivitätszeit steigen sie demgegenüber sprunghaft um das etwa Fünffache an, wobei die Zeit der Mittagsruhe sich wiederum durch eine leichte Senke im Streuungsverlauf abzeichnet. Die Abbildung enthält ausserdem zur Kontrolle für die Aktivitätszeit auch die aus allen 32 Doppeluntersuchungen bestimmten Streuungswerte. Der Vergleich ergibt, dass die 12 auch nachts doppelt kontrollierten Probanden als repräsentativ für die Gesamtgruppe angesehen werden können.

Die Reproduzierbarkeit der so bestimmten 24-Std.-Pulssummen ergibt sich aus Abb.4, in der die individuellen Werte der ersten und zweiten Untersuchung aller 32 Probanden gegeneinander aufgetragen sind. Es findet sich eine sehr hohe positive Korrelation, deren Achsenneigung (vgl.eingezeichnete Ausgleichsgerade) keine wesentliche Abweichung von 45° zeigt

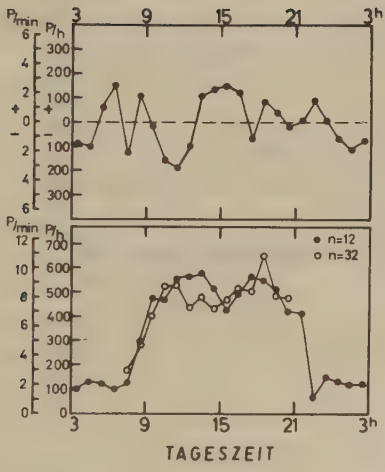

Abb. 3

(oben) Tagesgang der mittleren Paardifferenzen zwischen den 1-Std.-Pulssummen der ersten und zweiten Untersuchung bei den 12 vollständig doppelt untersuchten Probanden.

(unten) Tagesgang der dazugehörigen Streuungswerte. Die Abbildung enthält ausserdem zur Kontrolle die aus allen 32 Doppeluntersuchungen bestimmten Streuungswerte während der Aktivitätszeit.

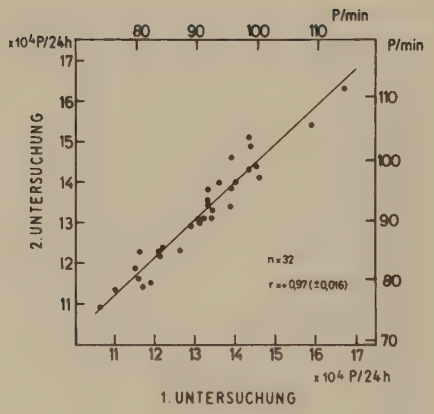

Abb. 4 Die Beziehung zwischen den 24-Std.-Pulssummen der ersten und zweiten Untersuchung aller 32 Probanden.

c) Mittlere Tagesstundenpulssumme (TSPS).

Nach dem geschilderten Tagesplan (vgl.S.10) wurden die Probanden um 7.oo Uhr geweckt und begannen nach 21.oo Uhr einzuschlafen. Als Aktivitätszeit ist demnach der Zeitraum zwischen 7.oo und 22.oo Uhr anzusetzen. Aus dem Streuungsverhalten der Paardifferenzen in Abb.3 (unten) lässt sich die Berechtigung dieser Einteilung eindeutig ablesen. Die Pulssumme der Aktivitätszeit wurde demnach aus 15 1-Std.-Pulssummen gebildet. Zur Kennzeichnung des mittleren Pulsniveaus während dieser 15 Stunden der Aktivität wurde die durchschnittliche Stundenpulssumme (in P/h) berechnet und als mittlere Tagesstundenpulssumme bezeichnet. Obwohl diese mittlere Tagesstundenpulssumme naturgemäss stärker von dem nicht streng geregelten Aktivitätsverhalten des Probanden abhängig sein muss, ist die Korrelation zwischen den Ergebnissen der ersten und zweiten Untersuchung in Abb.5 überraschend hoch ($r = + 0.93 \pm 0.025$). Angesichts der grossen Streuung der Paardifferenzen (vgl.Abb.3 unten) während der Aktivitätszeit spricht diese relativ gute Reproduzierbarkeit der Tagespulssummen dafür, dass sich die Verhaltensunterschiede in einem 15-Stunden-Integral weitgehend ausgleichen.

d) Mittlere Nachtstundenpulssumme (NSPS).

Der bei Bestimmung der Tagespulssumme nicht erfasste Zeitraum zwischen 22.oo und 7.oo Uhr umfasst im wesentlichen die Schlafzeit der Probanden. Er zeichnet sich durch eine gleichmässig minimale Streuung der Paardifferenzen der 1-Std.-Pulssummen aus. Zur Kennzeichnung des Pulsniveaus während der neun Nachtstunden wurde in entsprechender Weise die durchschnittliche Stundenpulssumme (P/h) bestimmt und als mittlere Nachtstundenpulssumme gekennzeichnet. Die Reproduzierbarkeit der Nachtstundenpulssumme konnte nur an den 12 doppelt untersuchten Probanden geprüft werden.

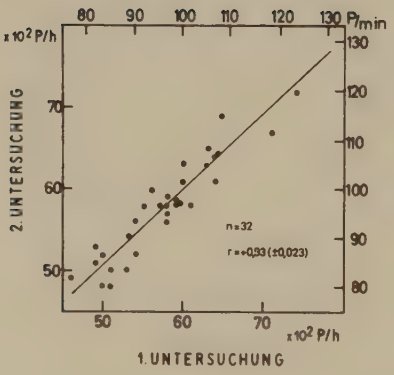

Abb. 5 Die Beziehung zwischen den mittleren Tagesstundenpulssummen der ersten und zweiten Untersuchung aller 32 Probanden.

In Abb. 6 sind die Ergebnisse der Erst- und Zweituntersuchungen einander gegenübergestellt. Die Korrelation ist fast ideal und bestätigt erneut die Berechtigung, in den weiteren 20 Untersuchungen auf eine doppelte Kontrolle während der Nachtstunden zu verzichten.

e) Nächtliches Pulssummenminimum (NMPS).

Als nächtliches Pulssummenminimum wurde die niedrigste 1-Std.-Pulssumme im Zeitraum zwischen 2.oo und 7.oo Uhr bestimmt. Die Reproduzierbarkeit dieses Messwertes wurde bei 12 doppelt Untersuchten einerseits an der Paardifferenz sowie an der Korrelation zwischen den Erst- und Zweituntersuchungen geprüft. Die mittlere Paardifferenz war mit 31,7 P/h (ca.0,5 P/min) minimal und bei einer Streuung (σ) von $\pm$125,0 P/h (ca.2 P/min) nicht signifikant. Der Korrelationskoeffizient war mit r = + 0,97 ($\pm$ 0,019) sehr hoch. Andererseits wurde auch die zeitliche Lage der nächtlichen Pulssummenminima in beiden Untersuchungen verglichen. Diese wichen in keinem der 12 Fälle um mehr als eine Stunde voneinander ab, was gleichfalls für eine gute individuelle Reproduzierbarkeit des nächtlichen Pulssummenminimums spricht und die Berechtigung nachweist, das gemittelte individuelle Verhalten in den 12 Doppeluntersuchungen gemeinsam mit den nur einmal gemssenen Werten der übrigen 20 Probanden zu verarbeiten.

f) Das 9.oo Uhr-Maximum.

Als weiteren Bezugspunkt verwandten wir die 1-Std.-Pulssumme der Zeit zwischen 8.oo und 9.oo Uhr morgens. Dieser Wert schien interessant, da sich das absolute Pulssummenmaximum des mittleren Tagesganges gerade zu diesem Zeitpunkt findet.

g) Pulsfrequenzsteigerung bei Arbeit.

Das Pulsverhalten bei Arbeitsbelastung auf allen Belastungsstufen wurde während der vierten Arbeitsminute untersucht.

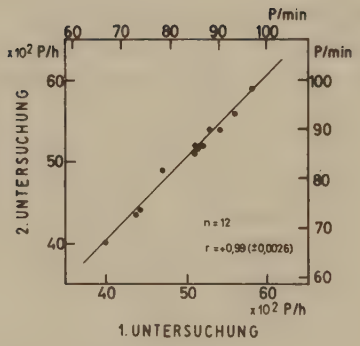

Abb. 6 Gegenüberstellung der individuellen mittleren Nachtstundenpulssummen der Erst- und Zweituntersuchungen bei den 12 doppelt untersuchten Probanden.

Die Arbeits-Pulsfrequenz dieses Zeitraumes wurde sowohl mit dem Ruhewert im Sitzen als auch mit dem nächtlichen Pulsminimum verglichen, welches aus dem nächtlichen Pulssummenminimum errechnet wurde.

h) Erholungspulssumme (EPS).

Die Erholungspulssumme wurde nach dem von KARRASCH u.MÜLLER (1951) angegebenen Verfahren als Summe der Pulse, die in der Erholungszeit über dem Ruhepuls lagen, bestimmt. In Abweichung von der Originalmethode wurde das Ende der Pulserholungszeit allerdings dadurch definiert, dass nicht der Frequenzdurchschnitt der letzten 10 Erholungsminuten das Ruhepulsniveau wieder erreicht haben musste, sondern lediglich der Frequenzdurchschnitt der letzten drei Erholungsminuten.

III. Ergebnisse

1. Der Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme.

Abb.7 zeigt den mittleren Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme bei Zusammenfassung aller Einzeluntersuchungen, wobei die Messabschnitte von Vormittag und Nachmittag 64 Messungen, der nächtliche Messabschnitt nur 44 Messungen pro Stunde umfassen. Die interindividuellen Niveauunterschiede sind durch Umrechnung aller Einzelmesswerte in Prozent des individuellen Tagesmittels ausgeglichen. Die Ordinatenskalen geben neben den Prozentwerten auch die entsprechenden Absolutwerte in P/h und P/min. an. Die mittlere 24-Std.-Pulssumme aller Untersuchungen betrug 132.111 Pulse (= 91,7 P/min). (Die Verteilung der individuellen 24-Std.-Pulssummen ging bereits aus Abb.4 hervor, die Absolutwerte sind in Tab.2 zusammengestellt). Der Tagesgang ist zur besseren Übersicht zweimal hintereinander aufgetragen. Die Zeitordnung der Abszisse entspricht dem sogenannten Biologischen Tag (vgl.HILDEBRANDT 1962).

a) Maxima und Minima

Der mittlere Tagesgang in Abb.7 zeigt das zu erwartende nächtliche Minimum zwischen 2.oo und 3.oo Uhr. Im Einzelfall schwankte die zeitliche Lage des nächtlichen Pulssummenminimums, wie die Zusammenstellung in Abb.8 erkennen lässt, zwischen 0.oo - 1.oo und 5.oo - 6.oo Uhr. Der Mittelpunkt der Verteilung liegt kurz nach 3.oo Uhr.

Das Pulssummenmaximum des mittleren Tagesganges in Abb.7 findet sich zwischen 8.oo und 9.oo Uhr. Bei der Untersuchung aller Einzelfälle in Abb.8 ergibt sich aber,dass das Maximum zwei verschiedene Zeitbereiche bevorzugt: den Vormittag zwischen 6.oo - 7.oo und 9.oo - 10.oo Uhr und den Nachmittag zwischen 13.oo - 14.oo und 19.oo - 20.oo Uhr (n= 21 bzw. n = 11). Der mittlere Kurvenverlauf im Bereich des erhöhten

Pulsniveaus am Tage stellt aber keineswegs nur einen entsprechenden Doppelgipfel dar, sondern gleicht eher einer periodischen Schwingung, die vom Hauptmaximum zwischen 8.oo und 9.oo Uhr ausgehend stark gedämpft ausklingt, wobei die Amplitude des zweiten Maximums zwischen 12.oo und 13.oo Uhr sich noch signifikant abhebt.

b) Amplitude.

Schon rein formal wegen des Schwingungscharakters des 1-Std.-Pulssummenverlaufs während der Wachzeit, vor allem aber wegen der bekannten Abhängigkeit der Pulsfrequenz vom individuellen Verhalten scheint es nicht berechtigt, die Tagesamplitude als Differenz zwischen dem jeweils absoluten Maximal- und Minimalwert zu bestimmen. Wir wählten daher als Amplitudenmass die Differenz zwischen der mittleren Tagesstundenpulssumme und mittleren Nachtstundenpulssumme bzw. dem nächtlichen Pulssummenminimum. Die gefundenen individuellen Absolutwerte sind in Tab.2 zusammengestellt.

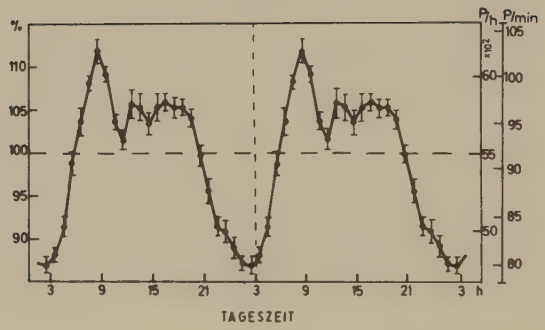

Abb.7 Mittlerer Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme bei Zusammenfassung aller Einzeluntersuchungen. Die Ordinate gibt die individuellen Tagesmittelwerte in Prozent an, die Skalen am rechten Bildrand zeigen die entsprechenden Absolutwerte in P/h und P/min. Zur besseren Übersicht ist der Tagesgang zweimal hintereinander aufgetragen.

Tabelle 2.

24-Std.-Pulss.	Mittl. TPS	Mittl. NPS	Nächtl. PS.-Min.	Diff.mittl. TPS/mittl.NPS	Diff.mittl. TPS/PS.-Min.
122060	5300	4730	4250	570	1050
123990	5440	4710	4250	730	1190
158510	7060	5850	5430	1210	1630
153610	6730	5850	5430	880	1300
167230	7430	6190	5810	1240	1620
162730	7150	6170	5810	980	1340
132120	5840	4950	4250	890	1590
130820	5770	4930	4250	840	1520
117440	5060	4620	3860	440	1200
113950	4830	4610	3860	220	970
113500	4970	4320	3800	650	1170
111050	4810	4330	3800	480	1010
138510	5870	5610	5310	260	560
137590	5820	5590	5310	230	510
115060	4890	4630	4250	260	640
118520	5120	4640	4250	480	870
133150	6010	4780	4400	1230	1610
137770	6300	4800	4400	1500	1900
131630	5870	4840	4350	1030	1520
129670	5750	4820	4350	930	1400
128940	5720	4790	4480	930	1240
129470	5750	4790	4480	960	1270
137630	6090	5150	4930	940	1160
133710	5820	5160	4860	660	960
115980	5070	4440	4020	630	1050
115570	5040	4440	3980	600	1060
121260	5420	4440	4100	980	1320
123640	5590	4420	4010	1170	1580
139210	5580	6160	5750	-580	-170
146290	6030	6200	5750	-170	280
133360	5810	5140	4630	670	1180
133810	5860	5110	4610	750	1250

- Fortsetzung S.26 -

Fortsetzung Tabelle 2

VP	24-Std.-Pulss.	Mittl. TPS	Mittl. NPS	Nächtl. PS.-Min.	Diff.mittl. TPS/mittl.NPS	Diff.mittl. TPS/PS.-Min.
17	143440	6380	5310	4750	1070	1630
	143250	6390	5350	4860	1040	1530
18	145470	6430	5440	5160	990	1270
	144030	6360	5400	5150	960	1210
19	105700	4620	4050	3780	570	840
	109340	4880	4020	3680	860	1200
20	131970	5920	4790	4320	1130	1600
	130860	5840	4800	4320	1040	1520
21	134300	5750	5330	4940	420	810
	133330	5680	5350	4940	330	740
22	132850	5950	4850	4420	1100	1530
	134760	6080	4840	4420	1240	1660
23	119360	5290	4450	4030	840	1260
	115060	5010	4440	4030	570	980
24	145850	6430	5480	4640	950	1790
	141460	6140	5480	4640	660	1500
25	125700	5360	5030	4700	330	660
	122500	5170	5000	4700	170	470
26	139630	6270	5060	4520	1210	1750
	139500	6160	5070	4520	1190	1740
27	121060	5070	4990	4740	80	330
	122700	5160	5030	4740	130	420
28	115910	4910	4690	4410	220	500
	123200	5280	4890	4460	390	820
29	135810	5540	5850	5630	-310	- 90
	139640	5780	5890	5500	-110	280
30	144400	6260	5570	5130	690	1130
	147950	6530	5550	5260	930	1270
31	133690	5840	5130	4860	710	980
	131150	5640	5180	5040	460	600
32	142880	6380	5240	4710	1140	1670
	150990	6920	5240	4820	1680	2100

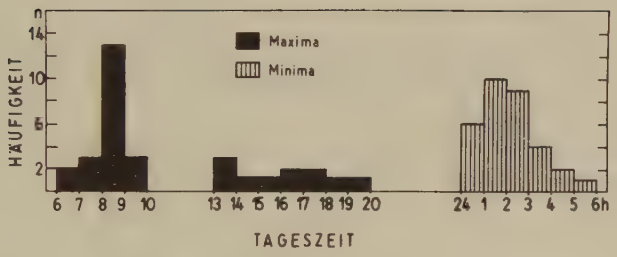

Abb. 8 Zeitliche Lage der individuellen Pulssummenmaxima bzw. Pulssummenminima aller 32 Versuchspersonen.

Abb. 9a und 9b zeigen die Korrelationen zwischen den individuellen Niveaudifferenzwerten der Erst- und Zweituntersuchung, und zwar in Abb.9a die Differenzen zwischen der mittleren Tagesstundenpulssumme und der mittleren Nachtstundenpulssumme, und in Abb.9b diejenige zum nächtlichen Pulssummenminimum. Die Beziehungen sind ausserordentlich eng; die Korrelations-Koeffizienten liegen bei 0,9. Die Neigung der Ausgleichsgeraden weicht nur wenig von 45° ab. Zur Prüfung der individuellen Reproduzierbarkeit bzw. Konstanz der Tagesgangs-Amplitude (Niveaudifferenz) haben wir ausserdem die mittleren Paardifferenzen zwischen den beiden Untersuchungsterminen und deren Streuung berechnet. Der mittlere Unterschied der Niveaudifferenz der Pulssummen zwischen den Tages- und Nachtstunden betrug 10,94 P/h (0,18 P/min), die Streuung $\sigma = \pm 236{,}0$ P/h (ca.4 /P/min), die zum nächtlichen Pulssummenminimum betrug + 25,6 P/h (ca.0,4 P/min) mit einer Streuung von $\sigma = \pm$ 235,0 P/h (ca.4 P/min). Alle diese Ergebnisse weisen auf eine gute Reproduzierbarkeit der Tagesgangs-Amplitude hin, so dass es auch hier berechtigt erscheint, für die weiteren Untersuchungen den individuellen Mittelwert von Erst- und Zweituntersuchungen zu verwenden. Für diese individuelle Niveaudifferenz bestand auch keine signifikante Altersabhängigkeit.

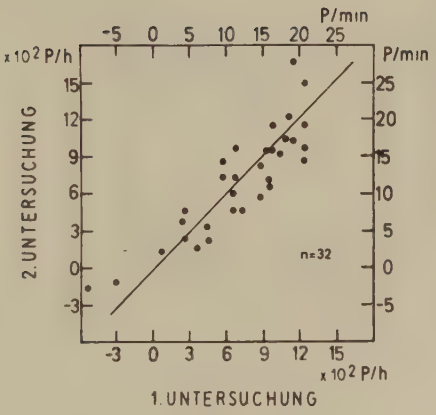

Abb.9a Korrelation zwischen den individuellen Tagesgangs-Amplituden (Differenz zwischen der mittleren Tagesstundenpulssumme und der mittleren Nachtstundenpulssumme) der Erst- und Zweituntersuchung aller 32 Probanden.

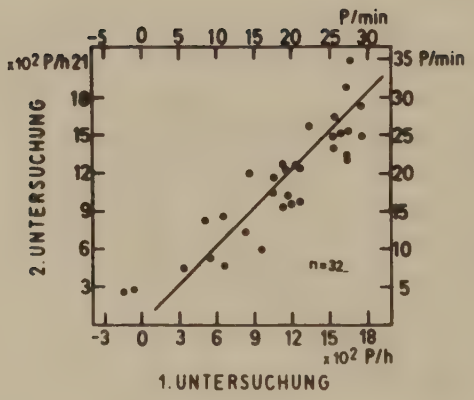

Abb.9b Korrelation zwischen den individuellen Tagesgangs-Amplituden (Differenz zwischen der mittleren Tagesstundenpulssumme und nächtlichem Pulssummenminimum) der Erst- und Zweituntersuchung aller 32 Probanden.

c) Wechselbeziehungen von Phase, Amplitude und Niveau.

In Abb.10 ist der mittlere Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme von den 21 Probanden, deren Tagesmaximum in den Vormittagsstunden lag, dem der weiteren 11 Probanden gegenübergestellt, deren Tagesmaximum in den Nachmittagsstunden lag (vgl.Abb.8). Der Tagesgang der erstgenannten Gruppe zeigt besonders deutlich das gedämpfte Abklingen einer kurzwelligen Periodik im Anschluss an das Hauptmaximum, während der der zweiten Gruppe mehr einem zweigipfeligen Verlaufstyp mit stärkerer Betonung des Nachmittagsmaximums entspricht. Die Unterschiede der 24-Std.-Pulssumme und der Tag-Nacht-Niveaudifferenz sind in Tabelle 3 zusammengestellt, wobei als nächtlicher Bezugswert wiederum sowohl die mittlere Nachtstundenpulssumme als auch das nächtliche Pulssummenminimum verwendet wurde. Es besteht eine signifikante Differenz zwischen beiden Gruppen für die beiden Amplitudenmasse, während sich ihre mittlere 24-Std.-Pulssumme nicht signifikant voneinander trennen lässt.

Darüberhinaus wird bereits im Vergleich der Mittelwertkurven (vgl.Abb.10) ein Unterschied hinsichtlich der zeitlichen Lage des nächtlichen Minimums deutlich, wobei die Gruppe mit den vormittäglichen Maximum das nächtliche Minimum im Durchschnitt früher erreicht. Im Mittel lag das nächtliche Pulssummenminimum dieser Gruppe um 1,45 Std. (σ_{mD}=0,50) früher als bei der Gruppe mit dem nachmittäglichen Maximum. Dieser Unterschied war mit $p < 0{,}0025$ statistisch zu sichern. Für die positive Korrelation zwischen dem individuellen Tagesstunden von Maximum und nächtlichem Minimum errechnete sich ein Korrelations-Koeffizient von $r = +0{,}51$, der auf dem 1%-Niveau signifikant war.

Die zeitliche Lage des nächtlichen Pulssummenminimums war ausserdem positiv korreliert mit seiner absoluten Grösse ($r=+0{,}44\pm0{,}14$; $p=0{,}01$)und negativ korreliert mit der Niveaudifferenz zwischen mittlerer Tages- und Nachtstundenpuls-

summe ($r = -0,44 \pm 0,14$; $p=0,01$) bzw. mittlerer Tagesstundenpulssumme und nächtlichem Pulssummenminimum ($r = -0,52 \pm 0,13$; $p=0,01$). Zwischen der zeitlichen Lage des Minimums und der individuellen 24-Std-Pulssumme liess sich dagegen keine signifikante Beziehung feststellen, der Korrelations-Koeffizient war aber positiv ($r = +0,13 \pm 0,17$).

Abb.11 zeigt den mittleren Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme für drei Gruppen, die nach der Grösse der individuellen 24-Std.-Pulssumme aufgeteilt sind (über 140.000, 125.000 bis 140.000 und unter 125.000 P/24h) . Während die zeitliche Lage der Maxima und Minima erwartungsgemäss keine Differenzen aufweist, fällt besonders die kleinere Amplitude in der unteren Gruppe auf. Die Korrelation zwischen der individuellen 24-Std.-Pulssumme und den beiden Amplitudenmassen (Differenz zwischen mittlerer Tages- und Nachtstundenpulssumme bzw. zwischen mittlerer Tagesstundenpulssumme und nächtlichem Pulssummenminimum) war zwar in beiden Fällen von positiver Richtung, erreichte aber nicht das 5%-Niveau der Signifikanz ($r = +0,31 \pm 0,16$; $p < 0,08$ bzw. $r = +0,24 \pm 0,17$; $p < 0,20$).

Führt man wegen der z.T. automatischen Abhängigkeit zwischen der Amplitude des Tagesganges und dem 24-Std.-Mittel als weiteres Mass des individuellen Pulsniveaus das nächtliche Pulssummenminimum ein und korreliert es mit den beiden Amplitudenmassen, so ist praktisch keine Beziehung mehr festzustellen ($r = -0,25 \pm 0,17$; bzw. $r = -0,15 \pm 0,17$).

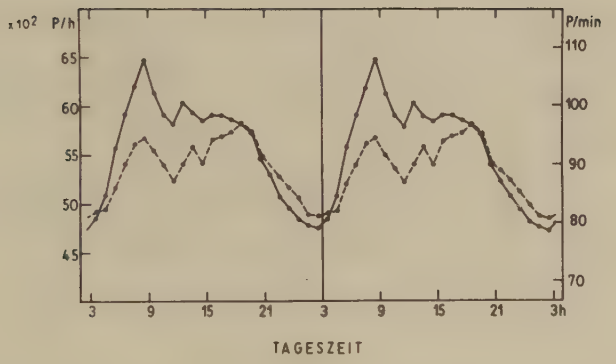

Abb.10 Mittlerer Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme von 21 Probanden mit vormittäglicher Lage des Pulssummenmaximums (●——●) sowie von 11 Probanden mit nachmittäglicher Lage des Pulssummenmaximums (●- - - -●).

Tabelle 3

	n	Mittlere 24-Std.-Pulss. (P/min.)	Mittlere TSPS -Mittlere NSPS (P/min.)	Mittlere TSPS -nächtl.PSM (P/min.)
Vormittags-Maximum	21	133.430 (92,66)	832,4 (13,87)	1.249,5 (20,83)
Nachmittags-Maximum	11	129.258 (89,76)	470,9 (7,85)	817,3 (13,62)
Differenz:		4.172 (2,89)	361,5 (6,02)	432,2 (7,21)
p-Wert:		0,40	0,025	0,020

Unterschiede hinsichtlich der 24-Std.-Pulssumme und der beiden Amplitudenmasse (Differenz zwischen mittlerer Tages- und Nachtstundenpulssumme bzw. zwischen mittlerer Tagesstundenpulssumme und nächtlichem Pulssummenminimum) zwischen der Gruppe mit dem morgendlichen Maximum (n= 21) und der Gruppe, deren Tagesmaximum in den Nachmittagsstunden liegt (n= 11).

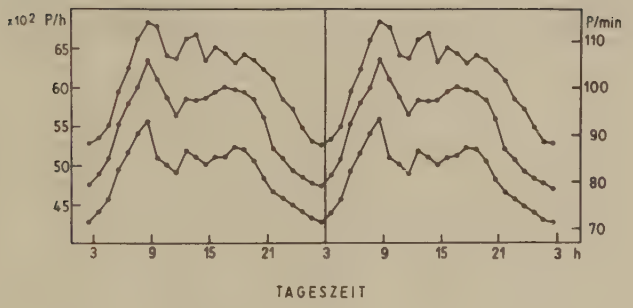

Abb.11 Mittlerer Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme für drei Gruppen, die nach der Grösse der individuellen 24-Std.-Pulssumme aufgeteilt sind (obere Kurve über 140.000, mittlere Kurve 125.000 bis 140.000, untere Kurve weniger als 125.000 P/24h).

2. Der Einfluss der körperlichen Aktivität auf den Tagesgang.

Abb.12 zeigt den mittleren Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme für drei Gruppen, in denen die tagsüber liegenden (Gruppe III), sitzenden (Gruppe II) und laufenden Probanden (Gruppe I) zusammengefasst sind. Die drei Kurven unterscheiden sich kaum in ihrem Gesamtniveau, ebenso bestehen keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Differenz zwischen dem Tages- und Nachtniveau der Pulszahl. Die in Tabelle 4 zusammengestellten Gruppenmittelwerte und deren mittlere Fehler bestätigen diesen Eindruck, indem sich auch zwischen den Extremgruppen I und III für die 24-Std.-Pulssumme, nächtliches Pulssummenminimum sowie für die beiden Amplitudenmessgrössen keine signifikanten Differenzen finden.

Demgegenüber wird in Abb. 12 deutlich, dass die drei Gruppen mit unterschiedlicher Aktivität vor allem in der Grösse des vormittäglichen Maximums voneinander abweichen. So ist der Anstieg vom nächtlichen Minimum zum Vormittagsmaximum in der Gruppe I (laufende Probanden) um 57% grösser als in der Gruppe III (liegende Probanden) und um 20% grösser als in der Gruppe II (sitzende Probanden). Statistisch ist dieser Unterschied nur zwischen den Gruppen I und III signifikant (vgl. Tabelle 4). Dementsprechend verläuft der Übergang vom Hauptmaximum zum nachfolgenden Tagesniveau bei der Gruppe der Liegenden ohne wesentlichen Sprung, während bei den Laufenden ein steiler Abfall des Maximums in Form einer stark gedämpften Schwingung erfolgt. Die Gruppe der Sitzenden zeigt einen mittleren Verlaufstyp.

Die zeitliche Lage der individuellen Maxima und nächtlichen Minima bei den drei Gruppen mit unterschiedlichem Aktivitätsgrad ist in Abb.13 gegenübergestellt. Wie schon in den Gruppenmittelkurven der Abb.12 erkennbar, besteht mit abnehmendem Aktivitätsgrad vom Laufen zum Liegen eine Tendenz zur späteren Lage des nächtlichen Pulssummenminimums. Erwartungsgemäss (vgl.Abschnitt III, 1c) geht damit auch eine

zunehmende Häufung nachmittäglicher Termine für das Tagesmaximum der 1-Std.-Pulssumme einher, während sich bei den laufenden Probanden die Maxima am strengsten auf die Zeit zwischen 8.00 und 9.00 Uhr vormittags konzentrieren.

Zusammenfassend ergibt sich demnach, dass der Grad der Aktivität bzw. körperlichen Belastung sich in erster Linie auf die Grösse des morgendlichen Pulsanstiegs auf maximale Werte (morgendliche Anstossreaktion) sowie auf die damit zusammenhängende zeitliche Lage von Maximum und Minimum auswirkt, während mittlere Amplitude und Gesamtniveau der Pulszahl im Tagesgang nicht sicher beeinflusst werden.

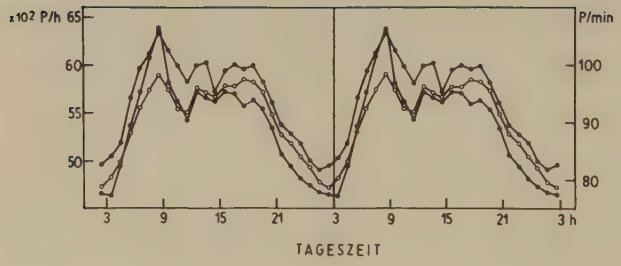

Abb.12 Mittlerer Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme für drei Gruppen, die nach dem Grad der Aktivität eingeteilt sind.

Gruppe I: laufende Probanden
Gruppe II: sitzende Probanden
Gruppe III: liegende Probanden

Tabelle 4

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
n	9	11	12
24-Std.-Pulssumme	128.632 ±3.600	136.196 ±3.675	130.668 ±3.752
Nächtliches PS-Minimum	4.388 ± 137	4.805 ± 141	4.656 ± 178
Mittl.TSPS-Mittl.NSPS	708 ±105	721 ±151	628 ±115
Mittl.TSPS-Nächtl.PSM	1.281 ±105	1.136 ±169	1.017 ±127
9.00^h-Wert-Mittl.TSPS	697 ± 90	485 ±139	233 ±110
9.00^h-Wert-Nächtl.PSM	1.974 ±157	1.649 ± 191	1.259 ± 212

	Differenz Gruppen I/II	Differenz Gruppen II/III	Differenz Gruppen I/III
9.00^h-Wert-Mittl.TSPS	$p < 0,30$	$p < 0,20$	$p < 0,005$
9.00^h-Wert-Nächtl.PSM	$p < 0,20$	$p < 0,20$	$p < 0,02$

Zusammenstellung der Gruppenmittelwerte und deren mittlerer Fehler.für die verschiedenen Parameter des integralen Pulsverhaltens. Für zwei dieser Parameter sind ausserdem im unteren Teil der Tabelle die p-Werte für die Differenzen zwischen den einzelnen Gruppen eingetragen.

Abb.13 Zeitliche Lage der individuellen Pulssummenmaxima und nächtlichen Minima bei den drei Gruppen mit unterschiedlichem Aktivitätsgrad der Abbildung 12.

3. Der Einfluss der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Da zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei den 15 hierzu getesteten Probanden zwei verschiedene Indikatoren, Arbeitspulsanstieg und Erholungspulssumme, zur Verfügung standen, wurden zur Sicherung zunächst die Ergebnisse beider Methoden miteinander verglichen. Wir fanden erwartungsgemäss eine positive Korrelation zwischen Arbeitspulsanstieg und Erholungspulssumme; die Korrelations-Koeffizienten betrugen

bei 10 Watt: $r = +0{,}55 \pm 0{,}18$; $p<0{,}05$ (n=15),
bei 20 Watt: $r = +0{,}88 \pm 0{,}064$; $p<0{,}001$ (n=13),
bei 30 Watt: $r = +0{,}78 \pm 0{,}13$; $p<0{,}01$ (n=10).

Dieses Ergebnis spricht dafür, dass bei der ersten Belastungsstufe von 10 Watt sich gewisse Störfaktoren (z.B. psychische Effekte) stärker auswirken, so dass wir für die folgenden Untersuchungen trotz der kleineren Probandenzahlen nur die Ergebnisse bei 20 und 30 Watt herangezogen haben. Zur Ruhepulsfrequenz vor Arbeitsbeginn bestand bei diesen beiden Belastungsstufen keine statistisch sichere Beziehung von Arbeits-Pulssteigerung und Erholungspulssumme. Die Korrelations-Koeffizienten lagen zwischen -0,14 ($\pm$0,27) und +0,18 ($\pm$0,27), so dass nicht einmal eine einheitliche Richtung bestand.

In Tabelle 5 sind nun für beide Belastungsstufen sowie für beide Kriterien der körperlichen Leistungsfähigkeit die Korrelations-Koeffizienten zusammengestellt, die sich bei der Gegenüberstellung mit den verschiedenen Parametern des individuellen Tagesganges der 1-Std.-Pulssumme ergaben. Statistisch zu sichernde Beziehungen fanden sich lediglich zu den beiden Amplitudenmassen (mittl.TSPS - mittl.NSPS; mittl.TSPS - nächtl.PSM), wo auf beiden Belastungsstufen und für beide Indikatoren der körperlichen Leistungsfähigkeit mittelgrosse und höhere positive Koeffizienten errechnet wurden. Bei den

kleinen Kollektiven erreichten diese allerdings nur zum Teil die 5%-Grenze der Signifikanz. Bei reihenweiser Zusammenfassung (nach z-Transformation; Wissenschaftliche Tabellen, DOCUMENTA GEIGY, 6.Aufl. 1960) waren die mittleren Koeffizienten für die beiden Amplitudenmasse aber hochsignifikant (p 0,001).

Demgegenüber waren die Beziehungen zwischen Arbeitspulssteigerung bzw. Erholungspulssumme einerseits und 24-Std.-Pulssumme, nächtlichem Pulssummenminimum und Grösse der Aufsteh-Pulsreaktion um 9.oo Uhr andererseits in sich richtungsmässig uneinheitlich und erreichten an keiner Stelle ein signifikantes Niveau des Korrelations-Koeffizienten. Auch bei reihenweiser Zusammenfassung von je vier Einzelkoeffizienten mit entsprechender Vergrösserung der Häufigkeiten wurde kein sicheres Ergebnis gefunden.

Es ergibt sich also, dass die körperliche Leistungsfähigkeit, wie sie am Pulsverhalten während und nach dosierter Arbeitsbelastung gemessen werden konnte, den Tagesgang der Pulszahl nur in Bezug auf dessen Amplitude beeinflusste.

Tabelle 5

	Arbeitspulssteigerung (4.Minute)		Erholungspulssumme	
	20 Watt (n=13)	30 Watt (n=10)	20 Watt (n=13)	30 Watt (n=10)
24-Std.-Pulssumme	- 0,06 (± 0,28)	+ 0,17 (± 0,31)	- 0,03 (± 0,27)	+ 0,46 (± 0,25)
Mittlere TSPS - Mittlere NSPS	+ 0,40 (± 0,23)	+ 0,52 (± 0,23)	+ 0,46 (± 0,22)	+ 0,65(x) (± 0,18)
Mittlere TSPS - Nächtl.PSM	+ 0,40 (± 0,23)	+ 0,68(x) (± 0,17)	+ 0,37 (± 0,24)	+ 0,67(x) (± 0,18)
Nächtl.PSM	- 0,29 (± 0,26)	- 0,33 (± 0,28)	- 0,22 (± 0,26)	+ 0,02 (± 0,32)
9.00h-Wert - Mittlere TSPS	+ 0,06 (± 0,28)	+ 0,25 (± 0,30)	+ 0,05 (± 0,28)	- 0,14 (± 0,31)
Ruhepuls	+ 0,18 (± 0,27)	- 0,14 (± 0,31)	+ 0,18 (± 0,27)	+ 0,12 (± 0,31)

(x) $p < 0,05$

Korrelations-Koeffizienten zwischen Arbeitspulssteigerung und Erholungspulssumme bei 20 und 30 Watt Drehkurbelarbeit und den verschiedenen Parametern des integralen Pulsverhaltens im Tagesgang.

4. Individuelle Besonderheiten und weitere Einzelbeobachtungen.

In Abb.14 ist der individuelle Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme von zwei Probanden dem mittleren Tagesgang der übrigen 30 Probanden gegenübergestellt, weil diese sich in ihrer Phasenlage sehr auffällig von letzteren unterschieden. Im Falle des B.M. (Vers.Nr.15, vgl.Tabelle 1) lag das Minimum der Pulszahl nach dem morgendlichen Frühstück zwischen 8.oo und 9.oo Uhr, das Maximum - abgesehen von einer kurzen Zacke zwischen 15.oo und 16.oo Uhr - erst am Abend. Insgesamt entstand der Eindruck einer Phasenverspätung um mindestens sechs Stunden. Der Tagesgang des H.K. (Vers. Nr.29) hatte sein Maximum bereits zwischen 7.oo und 8.oo Uhr und wies im weiteren Tagesverlauf eine sehr tiefe und langgezogene Senke auf, die nach einem kurzen Anstieg gegen Mitternacht in das absolute Minimum zwischen 2.oo und 3.oo Uhr einmündete. Wenn man vom Vorliegen einer 24-stündigen Periodik ausgeht, könnte man diese Kurve als Phasenverfrühung um etwa sechs Stunden interpretieren.

Bei der von uns vorgenommenen Bestimmung der Tages- und Nachtpulssumme bzw. deren Differenz als Amplitude ergab sich in beiden Fällen auf Grund dieser extremen Phasenabweichung eine negative Amplitude des Tagesganges. In den Punktwolken der untersuchten Korrelationen fielen daher diese beiden Fälle stets auffällig heraus und störten die errechnete Strenge der Beziehungen. Wir haben trotzdem von einer Eliminierung abgesehen, weil eine Phasenverschiebung von $\pm$ 6 Stunden noch nicht als Inversion des Tagesrhythmus angesehen werden konnte.

In einem Nachtabschnitt fiel das Pulsverhalten von drei Schülern im Vergleich zu einer bereits vorangegangenen Untersuchung besonders auf, und zwar dadurch, dass der übliche Abfall der 1-Std.-Pulssummen nach dem Einschlafen sehr verzögert eintrat und das nächtliche Pulssummen-

minimum sich um 2 bzw. 3 Stunden verspätete. Es wurde nachträglich festgestellt, dass diese Probanden im Gegensatz zu den übrigen an diesem Abend ein Kriminalstück im Fernsehen miterlebt hatten. Wie die Darstellung der Pulsverläufe in Abb.15 erkennen lässt, war das nächtliche Pulssummenminimum nicht nur verspätet, sondern auch absolut höher im Vergleich zur ungestörten Kontrolluntersuchung. Auch die mittlere Nachtstundenpulssumme war nach dem Fernseherlebnis in allen drei Fällen erhöht, und zwar um 115, 176 bzw. 372 Pulse/h (ca.2, 3 bzw.6 P/min.) (vgl.dazu Abb.3).

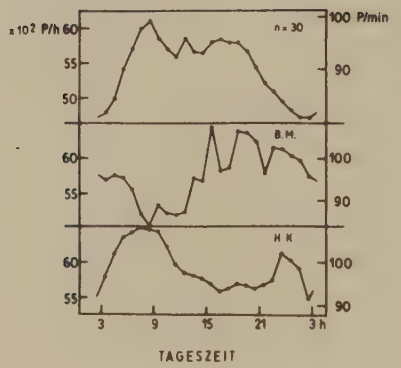

Abb.14 Die individuellen Tagesgänge der 1-Std.-Pulssumme der Probanden B.M. und H.K. im Vergleich zum mittleren Tagesgang der übrigen 30 Probanden.

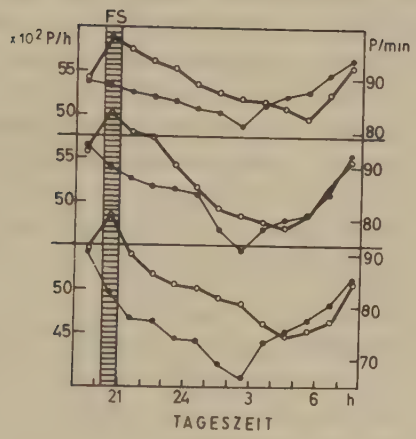

Abb.15 Nächtlicher Verlauf der 1-Std.-Pulssumme von drei Probanden, die am Abend im Fernsehen (FS) ein Kriminalstück erlebt hatten (o——o); im Vergleich dazu den Verlauf nach einem ungestörten Abend (●——●).

IV. Diskussion

Der Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme gab im Vergleich zu den übrigen Tagesgangsuntersuchungen der Pulsfrequenz zunächst rein methodisch ein besonders genaues, d.h. vor allem von Zufälligkeiten befreites Bild. Abgesehen davon, dass durch die integrale Messung der Pulszahlen, die spontan-rhythmischen Schwankungen der Pulsfrequenz im Sekunden- und Minuten-Bereich (GOLENHOFEN und HILDEBRANDT 1957a, 1958; HILDEBRANDT 1960) ausgeglichen werden, reagiert die Herzfrequenz nicht nur auf körperliche Belastung, sondern auch, besonders stark bei Jugendlichen (RUTENFRANZ u.HELLBRÜGGE 1960), auf psychische Einflüsse (vgl.auch GOLENHOFEN u.HILDEBRANDT 1957b, BARTENWERFER 1959). Da es sich dabei meist um kurzfristige Effekte handelt, werden diese im Summenwert einer Stunde mehr oder weniger ausgeglichen.

Das setzt allerdings ein fehlerfreies Funktionieren der Pulszählgeräte im Dauerbetrieb voraus, was mit in erster Linie von der ungestörten Funktion der photoelektrischen Pulsabnehmer abhängt. Um die Häufigkeit von Zählfehlern zu überprüfen haben wir sowohl nachts wie auch am Tage über mehrere Stunden durch direkte Mitbeobachtung alle Zählfehler verfolgt. Dabei lagen die Fehlerhäufigkeiten stets unter 0,5% der 1-Std.-Pulssumme, wobei sowohl Doppelzählungen wie auch Auslassfehler vorkamen. Dies entspricht im Mittel weniger als 30 P/h (ca.0,5 P/min.) .

Unsere Untersuchungen geben daher eine gute Gelegenheit, die bisherigen Kenntnisse über das Pulsverhalten im Tagesgang zu überprüfen und Näheres über die mitformenden Faktoren und deren Wechselbeziehung auszumachen. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass unsere Probanden nur teilweise den ganzen Tag über im Bett zubrachten und auch dann noch einem üblichen Tagesprogramm mit Schulunterricht etc. unterworfen waren, während die Untersuchungen über den tagesrhythmischen Gang der Pulsfrequenz sonst überwiegend an

bettlägerigen Gesunden bei völliger Ruhe und gleichmässig verteilter Kost unternommen worden sind (Lit.-Übersichten s.HILDEBRANDT 1962; MENZEL 1962).

Zunächst kann festgestellt werden, dass unsere Probanden trotz ihres jugendlichen Alters im Durchschnitt einen Tagesgang der Pulszahl aufweisen, der in allen wesentlichen Merkmalen dem der Erwachsenen entspricht. Wie MELLBRÜGGE u.Mitarb. (1956) sowie LANGE (1957) gezeigt haben, nimmt die Tagesamplitude der Pulsfrequenz in den ersten Lebensjahren stetig zu, wobei zugleich das Minimum von den Abendstunden über Mitternacht hinaus bis etwa 3.oo Uhr wandert. Dies wird im Bereich zwischen dem 4. und 13.Lebensjahr erreicht, jedoch ist hierbei die Amplitude mit über 30% zunächst grösser als später im Erwachsenenalter, wo die Tagesamplitude im Bereich von 20% des Tagesmittelwertes liegt (HILDEBRANDT 1960; 1962) . Wie der mittlere Tagesgang unserer Probandengruppe in Abb.7 zeigt beträgt die Amplitude (Wachniveau-nächtliches Pulssummenminimum) - wenn man von der spitzen (reaktiven) Überhöhung des Vormittagsmaximums absieht - weniger als 25% des 24-Std.-Mittels. Zugleich liegt das nächtliche Pulssummenminimum dicht bei 3.oo Uhr. Auch SCHNEIDER u.TRUESDALE (1923) fanden das Minimum der Pulsfrequenz bei Erwachsenen am häufigsten um 3.oo Uhr, VÖLKER (1927) gegen 5.oo Uhr. HILDEBRANDT (1960) konnte zeigen, dass die zeitliche Lage des nächtlichen Pulssummenminimums beim Erwachsenen vom Tagesmittelwert abhängig ist, es lag um so früher, je niedriger das Gesamtniveau der Pulszahl war und umgekehrt. HUNGERLAND u.ZENS (1952) fanden auch bei Kindern zwischen dem 3. und 14.Lebensjahr das Pulsminimum zwischen 2.oo und 3.oo Uhr nachts. In unserem Kollektiv war die Lage des nächtlichen Pulssummenminimums signifikant positiv abhängig vom absoluten Niveau, es lag um so später, je absolut grösser es war. Dies entspricht den Beobachtungen von HILDEBRANDT (1960). Zugleich bestand aber eine Abhängigkeit von der Tages-

amplitude im Sinne einer negativen Korrelation, worauf in der Literatur bisher nicht hingewiesen wurde. Das gilt auch für die aufgefundene Abhängigkeit zwischen der zeitlichen Lage von Maximum und Minimum.

Wie die Darstellung der intraindividuellen Variabilität der 1-Std.-Pulssummen bei den Doppeluntersuchungen gezeigt hat (vgl.Abb.3), ist der Tagesgang der Pulszahl im Nachtabschnitt sehr streng von einer relativ gleichmässigen tagesrhythmischen Steuerung bestimmt, während dagegen während der Wachzeit beträchtliche Abweichungen von Tag zu Tag hervorgerufen werden.

Die hohe Reproduzierbarkeit des nächtlichen Verlaufs der 1-Std.-Pulssumme und dementsprechend auch der gesamten Nachtpulssumme steht im Widerspruch zu Befunden von HUNGERLAND u.ZENS (1952) , die bei wiederholten Nachtuntersuchungen von Kindern beträchtliche Abweichungen des Pulsfrequenzverlaufs feststellten. Diese Diskrepanz dürfte mit darauf zurückzuführen sein, dass diese Autoren unter den Bedingungen einer Universitäts-Klinik untersuchten, während unsere Probanden - abgesehen von ihrem orthopädischen Leiden - gesunde Dauerinsassen einer internatsähnlich geführten Sonderstation waren. Unsere Erfahrungen mit dem Einfluss aufregender Fernseherlebnisse weisen darauf hin, dass der nächtliche Pulsverlauf auch durch psychische Faktoren, die vor dem Einschlafen einwirkten, weithin gestört werden kann. Auf die begünstigenden Effekte einer integrierenden Messmethode wurde bereits hingewiesen.

Bei der Untersuchung der Frage, welche Faktoren für die grössere Variabilität des Pulsverhaltens in der Wachzeit verantwortlich sind, muss natürlich zunächst das Verhalten und Erleben der Probanden im Rahmen des gemeinsamen Tagesprogramms in Betracht gezogen werden. Zum Zeitpunkt des morgendlichen Weckens und Aufstehens bzw. Bettens (ab 7.oo Uhr) befindet sich die Pulszahl im Durchschnitt bereits

seit 4 Stunden in einem Anstieg (vgl.Abb.7), dessen Gipfel zwischen 8.oo und 9.oo Uhr als absolutes Tagesmaximum erreicht wird. Als mitverantwortlich für diesen Pulsgipfel kommen zweifellos die allgemeine Aktivierung sowie die morgendliche Nahrungsaufnahme in Betracht (vgl.dazu KATZENBERGER 1913; LANGE 1957). Besonderes Interesse hat bei den Schulkindern der Einfluss des Schulunterrichts zwischen 9.oo und 12.oo Uhr. OCKEL (1964) fand bei wiederholten Pulsfrequenzmessungen an Schülern einer 6.Klasse (ca.12 Jahre alt), deren erste Unterrichtsstunde um 7.45 Uhr begann, vor Beginn dieser Stunde das Maximum der Pulsfrequenz, die bei den weiteren Messungen in den Schulpausen (um 9.25, 11.25 und 13.30 Uhr) kontinuierlich siginifikant abfiel. Die Autorin vertrat die Auffassung, dass die geistige Tätigkeit der Schüler zu einer Erniedrigung der Pulsfrequenz führt, zumal in Kontrolluntersuchungen mit vorwiegend manueller Betätigung aber gleicher Pausengestaltung die Pulsfrequenz von morgens bis mittags kontinuierlich anstieg.

Beim Vergleich mit unseren Durchschnittsergebnissen (Abb.7) ist zu berücksichtigen, dass die Schüler von OCKEL (1964) etwa 30 Minuten früher aufstehen mussten und einen Schulweg zurückgelegt hatten, dass zwischen 8.oo und 9.oo Uhr, wo bei uns der Hauptgipfel lag, keine Messungen vorgenommen wurden, und dass ausserdem auch die weiteren Kontrollen nur in zweistündigen Abständen erfolgten.

Auch bei unseren Schülern liegt das Pulsmaximum in der Stunde vor Schulbeginn, wir sind aber trotzdem nicht der Meinung, dass diese Tatsache auf die psychische Einstellung hinsichtlich des Unterrichtsbeginns zurückzuführen ist. Ebenso zweifeln wir daran, dass der kontinuierliche Abfall während der drei Unterrichtsstunden eine Folge der geistigen Beanspruchung ist (vgl.BARTENWERFER 1963). HILDEBRANDT (1960;1962) hat gezeigt, dass der Reiz des morgendlichen Erwachens mit

der dabei ausgelösten vegetativ-optischen Reaktion sowie die mit dem Aufstehen etc. verbundene Aktivierung zu einer starken Auslenkung von verschiedenen vegetativen Grössen führen, die vom Organismus in Form einer gedämpften periodischen Reaktion im Laufe des Tages ausgeglichen wird. Das Maximum dieser Reaktion folgt dem Erwachen mit einer Latenz von 1 bis 3 Stunden. Auch die Pulsfrequenz war an dieser morgendlichen Anstossreaktion beteiligt. Die Periodendauer der periodisch gedämpft abklingenden Reaktion betrug 6,8 bzw. 12 Stunden und stand damit in einem einfachen ganzzahligen Verhältnis zum 24-Std.-Rhythmus. Die Amplitude der Initialauslenkung war bei den erwachsenen Versuchspersonen, die unter gleichmässigen Ruhebedingungen gehalten wurden, deutlich vom individuellen Pulsniveau, d.h. von der vegetativen Reaktionslage abhängig.

Im Hinblick auf diese Vorstellungen halten wir es für sehr naheliegend, dass der Pulsverlauf während des Tages auch bei unseren Probanden im wesentlichen von einer periodisch gedämpft abklingenden Anstossreaktion geformt wird. Abgesehen von der mehrfach betonten formalen Übereinstimmung spricht dafür besonders die Tatsache, dass die Amplitude des morgendlichen Hauptmaximums um 9.oo Uhr bei den drei Gruppen, die sich hinsichtlich des Aktivitätsgrades nach dem Aufstehen infolge ihrer orthopädischen Behinderung unterschieden, signifikante Differenzen aufwies, und zwar so, dass die lauffähigen Probanden die grösste, die ständig liegenden Schüler die kleinste aufwiesen.

Auch die grösser werdende Häufigkeit nachmittäglicher Maxima bei abnehmendem Aktivitätsgrad spricht in diesem Sinne. Inwieweit gleichzeitig damit auch Differenzen in der dominierenden Periodendauer der Reaktion verbunden sind, möchten wir ohne nähere Kurvenanalysen nicht entscheiden.

In jedem Falle stützen diese Befunde das Konzept von HILDEBRANDT (1960; 1962), nach dem der Tagesgang ausser von einer 24-stündigen sinusförmigen Grundschwingung in der Phasenlage des sogenannten Biologischen Tages mit Wendestunden um 3.oo und 15.oo Uhr auch von einer kurzwelligen reaktiven Periodik mitgeformt wird, die am Morgen angestossen und im Laufe des Tages abgedämpft wird.

Andererseits könnte man natürlich auch den Versuch machen, die in Abb.7 erkennbaren kleineren Schwankungen im Gefolge der vormittäglichen Hauptauslenkung mit Einflüssen des Tagesprogramms in Beziehung zu setzen. So könnte man z.B. den Wiederanstieg der Pulszahl zwischen 12.oo und 13.oo Uhr auf die Mittagsmahlzeit im Sinne einer Verdauungspulssteigerung (LANGE 1957) beziehen. Die nächste Senke wäre als Mittagssenke im Zusammenhang mit der Mittagsruhe anzusehen, obwohl diese im Mittel viel zu gering ausgeprägt erscheint. Insgesamt scheint es uns eher berechtigt, die übliche Tageseinteilung als Ausdruck einer biologischen Reaktionsperiodik anzusehen, zumal beträchtliche interindividuelle Unterschiede trotz des allen gemeinsamen Tagesprogramms zu beobachten waren.

Von besonderem Interesse erscheint uns der Befund, dass der unterschiedliche Aktivitätsgrad der drei Gruppen I,II und III den Tagesgang der Pulszahl in keinem anderen Parameter signifikant beeinflusste als allein in der Amplitude der durch den Aktivitätsbeginn angestossenen Pulsauslenkung. Bei der vielseitig untersuchten Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der körperlichen Leistung (TIGERSTEDT 1921; [illegible] 1931; CHRISTENSEN 1931; TIITSO u.PEHAP 1935; ILJIN-KAKUJEFF 1937; RIEGER 1939; [illegible] 1941; [illegible] 1942, 1950, 1955; BÖHLAU 1955; MÖLLER u.BÖHLAU 1955; HIRCHHOFF u.REINDELL 1956, 1958; [illegible] u.RUTENFRANZ 1958, 1960; [illegible] und Mitarb. 1957, 1958, 1959; [illegible] 1961; RUTENFRANZ 1964) hätte man eher erwarten sollen, dass sich

die drei Gruppen am deutlichsten in den beiden Parametern der tagesrhythmischen Amplitude (Differenz zwischen mittlerer Tagesstundenpulssumme und mittlerer Nachtstundenpulssumme bzw. nächtlichem Pulssummenminimum) unterscheiden. Schon beim Übergang vom Liegen zum Aufstehen fand HILDEBRANDT (1960) bei Erwachsenen Pulsfrequenzsteigerungen zwischen ca. 10 und 20 P/min. Beim Vergleich der Gruppenmittelwerte in Tabelle 5 ist eine solche Abhängigkeit qualitativ ja durchaus auch erkennbar, doch liessen sich die Gruppenunterschiede bei den kleinen Häufkeiten statistisch nicht sichern.

Im Gegensatz dazu erwies sich die körperliche Leistungsfähigkeit als ein weitaus stärkerer Bestimmungsfaktor für die Tagesamplitude. Da körperliche Leistungsfähigkeit bzw. Trainingszustand in enger Beziehung zur vegetativen Reaktionslage stehen, wäre in diesem Zusammenhang an ältere Befunde von GÖBEL u.FISCHER (1951) zu erinnern, die bei Patienten mit gesteigerter vegetativer Labilität eine Vergrösserung der tagesrhythmischen Amplitude verschiedener Körperfunktionen,u.a. auch der Pulsfrequenz, fanden.

Insgesamt ist natürlich hinsichtlich unserer Ergebnisse einschränkend zu berücksichtigen, dass die Untersuchungen zunächst nur bei Jugendlichen durchgeführt wurden. Es könnte durchaus sein, dass bei der Gestaltung des Tagesganges der Pulszahl im Erwachsenenalter die hier in Betracht gezogenen Faktoren eine etwas andere Gewichtsverteilung ihres Einflusses besitzen.

Wenn man jetzt die Pulszahl des Jugendlichen als ein Mass für die Kreislaufbeanspruchung ansieht, so lassen unsere Ergebnisse darauf schliessen, dass die integrale Kreislaufbelastung des Jugendlichen weit mehr von seiner individuellen Leistungsfähigkeit als von seiner tatsächlichen körper-

lichen Aktivität abhängt. Insofern scheint uns die Kontrolle der täglichen Pulssumme ein auch praktisch wichtiges Verfahren zu sein, um über die zumutbare Beanspruchung des Jugendlichen, gerade auch im Hinblick auf eine erfolgreiche Rehabilitation, entscheiden zu können.

Zusammenfassung.

Während der Monate November bis März wurde bei insgesamt 32 Kindern und Jugendlichen, die als Patienten eines orthopädischen Rehabilitationszentrums tagsüber lagen, im Rollstuhl sassen oder frei laufen konnten, der Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme je zweimal mit photoelektrischen Pulszählern verfolgt. Anschliessend wurde bei 15 dieser Probanden die körperliche Leistungsfähigkeit durch Pulsfrequenzmessung während und nach stufenweise dosierter Handkurbelarbeit untersucht.

Trotz des unbeschränkten Verhaltensspielraums erwiesen sich alle wesentlichen Kenngrössen des Tagesganges (24-Std.-Pulssumme, mittlere Tagesstundenpulssumme, mittlere Nachtstundenpulssumme, nächtliches Pulssummenminimum) als individuell sehr gut reproduzierbar.

Der mittlere Tagesgang der 1-Std.-Pulssumme erreichte das nächtliche Minimum zwischen 2.oo und 3.oo Uhr, das Tagesmaximum zwischen 8.oo und 9.oo Uhr. Im einzelnen konnten verschiedene Wechselbeziehungen zwischen Phasenlage von Minimum und Maximum, Gesamtniveau und Tagesgangsamplitude nachgewiesen werden, wobei die gefundenen Verhältnisse der Vorstellung entsprechen , dass der 24-Std.-Rhythmus der Pulszahl von einer kürzerwelligen reaktiven Periodik überlagert ist, die am Morgen angestossen wird und mit individuell unterschiedlicher Dämpfung im Laufe des Tages abklingt.

Die drei Probandengruppen mit unterschiedlicher körperlicher Aktivität zeigten im Durchschnitt keine signifikanten Unterschiede für 24-Std.-Pulssumme, nächtliches Pulssummenminimum und beide Kenngrössen der Tagesgangsamplitude (Differenz zwischen mittlerer Tagesstundenpulssumme und mittlerer Nachtstundenpulssumme bzw. nächtlichem Pulssummenminimum). Dagegen war der Anstieg vom nächtlichen Pulssummenminimum

zum Vormittagsmaximum zwischen 8.00 und 9.00 Uhr bei den laufenden Probanden um 57% grösser als bei den liegenden und um 20% grösser als bei den sitzenden Probanden. Der Aktivitätsgrad wirkte sich demnach in erster Linie auf die Grösse der morgendlichen Anstossreaktion aus.

Als Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit waren Arbeitspulsanstieg und Erholungspulssumme bei bzw. nach 20 und 30 Watt Handkurbelarbeit hoch korreliert. Bei Gegenüberstellung beider Messgrössen mit den Kenngrössen des individuellen Tagesgangs der Pulszahl fanden sich sichere Beziehungen nur zu den beiden Kenngrössen der Tagesamplitude, während zu 24-Std.-Pulssumme, nächtlichem Pulssummenminimum und 9.00-Uhr-Maximum keine signifikanten Korrelationen bestanden. Die Tagesgangsamplitude der Pulszahl nimmt mit abnehmender körperlicher Leistungsfähigkeit zu.

Die Befunde sprechen dafür, dass die integrale Kreislaufbelastung des Jugendlichen in weit stärkerem Masse von seiner individuellen Leistungsfähigkeit als von seiner tatsächlichen körperlichen Aktivität abhängt. Die Kontrolle der täglichen Pulssumme ist somit auch ein praktisch wichtiges Verfahren, um über die zumutbare Beanspruchung des Jugendlichen ein Urteil zu gewinnen.

Unter den 32 Probanden wiesen 2 Probanden auffällig abweichende Tagesgänge der 1-Std.-Pulssumme auf, die einer Phasenverschiebung von 6 bzw. -6 Stunden entsprachen. Bei weiteren 3 Probanden wurde übereinstimmend festgestellt, dass aufregende Fernseherlebnisse am Abend eine Verspätung und Erhöhung des nächtlichen Pulssummenminimums zur Folge haben, wodurch die mittlere Nachtstundenpulssumme deutlich gesteigert wird.

Literaturverzeichnis

ASCHOFF, J. : Physiologie biologischer Rhythmen.
Ärztl. Praxis 18, 1569 u.1593-1597 (1966)

ASCHOFF, J. : Human circadian rhythm in activity,body temperature and other functions.
in: Life Sciences and Space Research.
North Holland,Amsterdam, 159-173 (1967a)

BARTENWERFER, H.: Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. I.Teil: Untersuchungen zu den Grundfragen und zur Erfassung der psychischen Beanspruchung in der Industrie.
Westdt.Verlag, Köln und Opladen 1960

BÖHLAU, V. : Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit.
Thieme, Leipzig 1955

BORGARD, W. : Herzfrequenz und Herzleistungssteigerung.
Arbeitsphysiol. 9, 505-513 (1937)

CHRISTENSEN, E.H.: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. IV.Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit.
Arbeitsphysiol. 4, 453-469 (1931)

DOCUMENTA GEIGY : Wissenschaftliche Tabellen
Basel 1955 und 1960

GOEBEL, P.H.,u. H.FISCHER : Untersuchungen von 24-Stunden-Schwankungen verschiedener Körperfunktionen.
Dt.Arch.klin.Med. 198, 600-611 (1951)

GRAF, O.,u. J.RUTENFRANZ : Zur Frage der Belastung von Jugendlichen.
Forschungsberichte des Wirtschafts-u.Verkehrs-Ministeriums Nordrh./Westf., Nr.619 (1958)

HALBERG, F. : Circadian temporal organisation and experimental pathologycal Reports.
VII.Conf.Internat.Soc.f.Biological Rhythm., incl.Basimetry.
Panminerva Medica, Turin, 52-69 (1962)

HEBESTREIT, H.: Der Verlauf der Erholung nach körperlicher Arbeit.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 222,738-761 (1929)

HELLBRÜGGE, Th. : Über Eigenheiten des kindlichen Schlafes.
Med. Klin. 54, 954-960 (1959)

HELLBRÜGGE, Th.,J.F.LANGE u. J. RUTENFRANZ : Über die Entwicklung von tagesperiodischen Veränderungen der Pulsfrequenz im Kindesalter.
Zschr.Kinderhk. 78, 703-722 (1956)

HELLBRUGGE, Th.,u. J. RUTENFRANZ : Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter.
Thieme, Stuttgart 1960

HENRYSSON, St., O.W. HASELOFF u. H.J. HOFFMANN : Kleines Lehrbuch der Statistik.
Walter de Gruyter & Co.,Berlin 1950

HILDEBRANDT, G. : Über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung.
Z.Klin.Med. 150, 445-454 (1953)

HILDEBRANDT, G. : Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung.
Habil.-Schrift,Marburg/Lahn 1958
in: Z.angew.Bäder- u.Klimahk. 7, 533-615 (1960)

HILDEBRANDT, G. : Rhythmus und Regulation.
Med. Welt 73-81 (1961)

HILDEBRANDT, G. : Biologische Rhythmen und ihre Bedeutung für die Bäder- und Klimaheilkunde.
in: AMELUNG u.EVERS: Handb.d.Bäder-u. Klimaheilkunde.
Fr.-K.Schattauer, Stuttgart 1962

HILDEBRANDT, G. : Störungen der rhythmischen Koordination und ihre balneotherapeutische Beeinflussung.
Z.angew.Klima-u.Bäderhk. 10, 402-420 (1963)

HILDEBRANDT, G. : Die Bedeutung der Umweltreize für den Tagesrhythmus des Menschen.
Z.angew. Bäder-u.Klimahk. 13, 626-644 (1966)

HILDEBRANDT, G.,u. F.-J. DAUMANN : Die Koordination von Puls-und Atemrhythmus bei Arbeit.
Int.Z.angew.Physiol. 21, 27-48 (1965)

HUNGERLAND,H.u. ZEMS, H. : Zschr.Kinderhk. 71, 369-378 (1956)

ILJIN-KAKUJEFF, B.J. : Veränderungen des Blutkreislaufes in der ersten Minute nach Beginn und Ende der körperlichen Arbeit.
Arbeitsphysiol. 9, 138-146 (1937)

JORES , A. : Physiologie und Pathologie der 24 - Stunden-Rhythmik des Menschen.
Erg.Inn.Med. 48, 574-629 (1935)

KAISER,F. ,u. J.MAURATH : Kreislaufdynamik der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen.
Klin.Woschr. 659 - 662 (1949)

KARRASCH, K.,u. E.A. MÜLLER : Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsperiode nach körperlicher Arbeit.
Arbeitsphysiol. 14, 369-382 (1951)

KATZENBERGER, A. : Zschr. Kinderhk., 9. 167-195 (1913)
Zit. bei: LANGE (1957)

KEUL, J.,u. H. REINDELL : Zur Belastbarkeit des jugendlichen Organismus.
Int.Z.angew. Physiol. 19, 287-325 (1961)

KIRCHHOFF, H.,u. H. REINDELL : Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit im Kindesalter.
Zschr.Kinderhk. 78, 634-652 (1956)

KIRCHHOFF, H.,H. REINDELL ,u. J. GIESE : Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungsbreite im Reifungsalter.
Zschr.Kinderhk. 81, 211-238 (1958)

KLEWITZ , F. : Der Puls im Schlaf.
Dtsch.Arch.klin.Med. 112, 38-55 (1912)

LANGE , J.F. : Über die Entwicklung einer Tagesperiodik verschiedener Körperfunktionen unter besonderer Berücksichtigung der Pulsfrequenz,der Schlaf-Wach-Verteilung und der Temperatur.
Med.Inaug.-Diss., München 1957

LEHMANN, G.,u. H. MICHAELIS : Die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit.
Arbeitsphysiol. 11, 376-392 (1941)

MELLEROWICZ, H. : Ergometrie.
Urban u.Schwarzenberg,München u.Berlin 1962

MELLEROWICZ ,H.,u. B.DRANSFELD : Untersuchungen über das Verhalten der Herzfrequenz während und nach körperlichen Leistungen.
Int.Z.angew.Physiol. 16, 464-471 (1957)

MELLEROWICZ, H.,u. B.DRANSFELD : Untersuchungen über Leistungsfähigkeit und Herzfrequenz von Untrainierten bei Maximalleistungen am Handkurbelergometer.
Intern.Z.angew.Physiol. 17, 207-215 (1958)

MELLEROWICZ, H.,u. D.LERCHE : Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der kardialen und körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.
Zschr.Kinderhk. 81, 36-49 (1958)

MELLEROWICZ, H.,u. D.LERCHE : Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit Jugendlicher.
Int.Z.angew.Physiol. 17, 459-468 (1959)

MENZEL, W. : Der 24-Stunden-Rhythmus des menschlichen Blutkreislaufes.
Erg.Inn.Med. 61, 1-52 (1942)

MENZEL, W. : Über den heutigen Stand der Rhythmenlehre in Bezug auf die Medizin.
Z.Altersforschng. 6, 26 u.104 (1952)

MEYER, W. : Menschliche Tag-Nacht-Rhythmik und Schichtarbeit.
Schwabe & Co., Basel und Stuttgart 1962

MÜLLER, E.A. : Die Pulszahl als Kennzeichen für Stoffaustausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden Muskels.
Arbeitsphysiol. 12, 92-104 (1942)

MÜLLER, E.A. : Ein Leistungspulsindex als Mass der Leistungsfähigkeit.
Arbeitsphysiol. 14, 271-284 (1950)

MÜLLER, E.A. : Regulation der Pulsfrequenz in der Erholungsphase nach ermüdender Muskelarbeit.
Int.Z.angew.Physiol. 16, 35-44 (1955)

MÜLLER, E.A.,u. J.RUTH : Die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bei beruflicher Arbeit.
Arbeitsphysiol. 14, 137-146 (1949)

MÜLLER, E.A.,u. W.HIMMELMANN : Geräte zur kontinuierlichen photoelektrischen Pulszählung.
Int.Z.angew.Physiol. 16, 400-407 (1957)

NÖCKER, J.,u. V. BÜHLAU : Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von Alter und Geschlecht.
Münch.Med.Woschr. 97, 1517-1522 (1955)

NÖCKER, J.,u. V. BÜHLAU : Belastungsfähigkeit des jugendlichen Organismus in den verschiedenen Entwicklungsstufen.
in: Leibesübungen und Gesundheitserziehung.
Tries , Freiburg 1955

OCKEL, E. : Tagesschwankungen des Blutdruckes und der Pulsfrequenz bei Schülern einer 6. Klasse.
Dt.Ges.-Wesen 27, 1247-1253 (1964)

POSSNER, W. : Leistungsgrenzen bei Herz-Kreislaufkranken. Möglichkeiten und Perspektiven radiotelemetrischer Überwachung am Arbeitsplatz.
Jahrbuch der Dt.Vereinigung für die Rehabilitation Behinderter, 100-103 (1967/68)

PREUSCHEN, G. : Zur Interpretation von Pulsmessungen bei Arbeit.
Zschr."Arbeitswissenschaft" 4/5 (Okt.67)

[illegible], H. : Beurteilung des Kreislaufes bei Jugendlichen.
Arch.Kinderhk. 118, 123-133 (1939)

RIEHL, I. : Die Frequenz des Herzschlages. Handb.norm.u.path.Physiol. VII/1, 449-522 (1926)

RUTENFRANZ, J. : Entwicklung und Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen. S. Karger, Basel 1964

RUTENFRANZ,J.,Th.HELLBRÜGGE, K.STEHR : Über den Einfluss des Filmerlebnisses auf das Pulsverhalten von Kindern. Ein Beitrag zur Labilität des kindlichen Pulses. Zschr.Kinderhk. 84, 522-542 (1960)

SCHNEIDER, E.,u. D.TRUESDALE : Daily variations in cardiovascular conditions and a physical efficiency rating. Americ.J.Physiol. 67, 193-204 (1923)

TIGERSTEDT, R.: Die Physiologie des Kreislaufes. Walter de Gruyter & Co., Berlin 1921

TIITSO, M.,u. A. PEHAP : Über den Einfluss der Körperarbeit auf die Pulsfrequenz. Arbeitsphysiol. 9, 51-61 (1937)

VÖLKER, H. : Über die tagesperiodischen Schwankungen einiger Lebensvorgänge des Menschen. Pflügers Arch.ges.Physiol. 215, 43-77 (1927)

Am Ende dieser Arbeit danke ich Herrn Prof.Dr.med. G. Hildebrandt für die Überlassung des Themas, für sein ständiges Interesse und seine richtungsweisende Hilfe bei der Durchführung der Versuche, wie auch bei der Auswertung der Ergebnisse, für seine fördernde Kritik und die zahlreichen klärenden Aussprachen.

Wertvolle Anregungen verdanke ich ferner den Herren Dr.med. E.D. Voigt und Dr.med. P. Engel.

Herr Engelmohr hat mich dankenswerterweise bei der Anfertigung der Abbildungen unterstützt.

Meine akademischen Lehrer waren in Frankfurt die Herren Professoren und Dozenten:

Artelt, Czerny, Egelę, Frick, Giersberg, Greven, Hanke, Lotz, Müser, Ried, Royen, Starck, Wieland.

Meine akademischen Lehrer waren in Marburg die Herrn Professoren und Dozenten:

Amon, Berendes, Bezold, Bommer, Braun-Falco, Brück, Buchholz, Bücher, Cleve, Dittrich, Dölle, Exner, Ganz, Gedigk, Golenhofen, Hamm, Hardewig, F.Hartmann, Hensel, Heuser, Hildebrandt, Hohorst, Jacob, Klingenberg, Knauff, Lang, Linneweh, Löhr, Lübbers, Mann, Martini, Marx, du Mesnil de Rochemont, Neubauer, Niessing, Nocke, Oehme, Oehmig, Peters, Petry, Petzold, Rodeck, Rohen, Sauer, Schiff, Schleyer, Schmid, F.W.Schmidt, Schmitz, Schrappe, Schwaiger, Siegert, Siess, Spiegelberg, Straub, Streicher, Strohmeyer, Stutte, Wendt, Würterle.

L e b e n s l a u f

Am 9.11.1941 wurde ich in Hofgeismar als Sohn des Dr.med.Walter Flotho und seiner Ehefrau Martha Flotho, geb.Schäfer geboren.

Vom Herbst 1947 bis Ostern 1952 besuchte ich die Volksschule und danach die Albert-Schweitzer-Schule in Hofgeismar, an der ich am 1.3.1961 das Zeugnis der Reife erhielt.

Im Sommersemester 1961 immatrikulierte ich mich in der Medizinischen Fakultät der Goethe-Universität Frankfurt/M. und bestand dort am 15.3.1962 das Vorphysikum. Im Sommersemester 1962 schrieb ich mich dann an der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg ein. Hier bestand ich am 29.2.1964 mein Physikum und legte am 1.8.1967 mein medizinisches Staatsexamen ab.

Seitdem war ich am Physiologischen Institut (Institut für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung, Aussenstelle Hess.Lichtenau) in Marburg, an der Frauenabteilung sowie der Chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses in Hofgeismar tätig. Den letzten Abschnitt meiner Medizinal-Assistentenzeit habe ich am 1.4.1969 in der Inneren Abteilung des Diakonissenhauses in Kassel begonnen.